



E/CONF.39/A/223

31 Oct.1962

ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.3.3.1

Italie

LA PROSPECTION DES EAUX SOUTERRAINES :
APPLICATION DES TECHNIQUES SPECIALES

Par Roberto DENTICE DI ACCADIA,
Ingénieur Hydraulicien,
Chef de la Section Hydrogéologique
à la "Caisse du Midi"

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.
2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.
3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.
4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

LA PROSPECTION DES EAUX SOUTERRAINES: APPLICATION DES TECHNIQUES SPECIALES

par

Roberto DENTICE DI ACCADIA - Ingénieur hydraulicien -
Chef de la Section Hydrogéologique à la "CAISSE DU MIDI"

1) Avant-Propos

L'activité de la "Caisse du Midi" destinée à promouvoir en Italie le progrès économique et social des régions sous-développées du Midi et des Iles a couvert une vaste gamme de secteurs parmi lesquels la recherche des ressources hydrologiques du sous-sol: la disponibilité en eau est en effet un facteur fondamental qui conditionne la mise en application des programmes d'irrigation, d'approvisionnement en eau potable et de transformation industrielle.

Cette recherche a été menée suivant un plan organique et systématique et a donné des résultats positifs.

L'ampleur des travaux effectués (près de 3 milliards d'hectares ont été étudiés pour un coût total d'environ 3 milliards de lires) et l'emploi des moyens les plus modernes de la technique ont permis d'acquérir une expérience très étendue dans ce domaine spécialisé: tant en ce qui concerne les critères suivant lesquels doivent être affrontés les études, que l'emploi des appareillages les plus appropriés.

Nombreuses sont les innovations apportées par la technique moderne de la prospection des eaux souterraines, de l'emploi des photographies aériennes et celui des prospections géo-électriques et géo-sismiques jusqu'à la technologie de la perforation et des installations de pompage.

On a pensé utile dans cette note d'examiner d'une manière schématique la technique des prospections géophysiques. En effet, la fréquente utilisation de cette technique dans les recherches de la Caisse et son emploi en des situations géologiques fort diverses nous a permis d'établir un cadre général de ses possibilités d'application.

2) La technique géophysique et ses limites

La géophysique est un outil remarquable à la disposition de l'hydrogéologue mais cet outil doit être employé avec discernement et ne constitue pas une panacée universelle.

Disons tout de suite que sauf dans le cas de certaines nappes superficielles, comme on le verra par la suite, la géophysique n'est généralement

pas en mesure de déceler directement la présence de l'eau souterraine et encore moins de chiffrer le débit des nappes et d'en indiquer les caractéristiques chimiques.

L'objet essentiel de la géophysique est de déterminer la nature et la structure du sous-sol à partir de mesures d'une grandeur physique (résistivité, élasticité, densité), effectuées en surface (*).

Une fois connue l'allure des différentes couches perméables et imperméables on en déduit, dans le cas de régions totalement inexplorées, la ou les zones structurellement les plus favorables à l'existence d'une nappe souterraine (ainsi que la profondeur de la ou des couches perméables pouvant être aquifères). Dans les régions où les nappes ont déjà été reconnues par puits ou forages l'allure des couches perméables déterminée par géophysique permettra de reconnaître l'extension horizontale et verticale des nappes. Il sera même possible dans le cas de terrains perméables en petit (alluvions, sables, calcaires coquilliers etc.) de chiffrer le volume du milieu aquifère et d'en déduire un ordre de grandeur des réserves existantes.

La prospection géophysique apparaît donc comme un prolongement de l'étude géologique en fonction de laquelle elle est effectuée. Il convient d'insister sur ce point fondamental que l'on tend parfois à perdre de vue. On ne fait pas de la géophysique pour chercher de l'eau. On fait de la géophysique pour éclairer et préciser une situation géologique qui paraît favorable à la présence de l'eau souterraine. Il convient donc, avant toute prospection, de définir nettement les conditions géologiques de la zone et le problème à résoudre.

On peut remarquer que les renseignements demandés à la géophysique sont identiques à ceux que fournirait une campagne de forages. Quand les conditions géologiques permettent son utilisation, l'avantage de la méthode, par rapport aux forages, est sa rapidité et son prix de revient extrêmement bas. On ne peut songer la plupart du temps à couvrir une région d'un réseau serré de forages de reconnaissance que la géophysique économisera, permettant de passer souvent directement à la phase des forages d'exploitation. Le défaut de la méthode est par contre souvent son manque de précision. Dans les déterminations structurales, qui forment l'essentiel des applications, on ne peut compter en effet, sauf cas particulier, sur une approximation de plus de 10%.

Dans le cas de nappes alluviales les mesures de résistivité permettent encore de déterminer la valeur de la porosité et de suivre les variations de perméabilité des alluvions. Précisons que la porosité qui peut être déterminée à partir de la résistivité du terrain et de la résistivité de l'eau d'imbibition est la "porosité totale" du milieu et que l'on ne peut malheureusement pas préciser la valeur plus intéressante de la seule "porosité utile" (pourcentage en volume des vides communicants).

Les variations de perméabilité des alluvions sont en étroite dépendance avec la proportion d'argiles qu'elle contiennent. Les argiles étant électrique ment conductrices, on conçoit qu'une alluvion sera d'autant plus conductrice que sa perméabilité sera plus faible.

(*) - Nous n'exposerons pas ici en détail le principe des méthodes utilisées (prospection électrique, sismique, gravimétrique, magnétique) que nous supposons connus.

Précisons enfin que l'étude par résistivité de la porosité et de la perméabilité des alluvions n'a de sens que si l'on s'adresse aux seules alluvions total ment imbibées. La résistivité varie en effet dans de très larges limites suivant l'imbibition du terrain.

La présence de l'eau souterraine pourrait donc théoriquement être décelée par la variation de la résistivité des terrains (un terrain imbibé est beaucoup plus conducteur qu'un terrain sec) ou encore par la variation de leur élasticité (la vitesse des ondes sismiques est plus élevée dans les alluvions imbibées). On conçoit toutefois que la variation de résistivité ou élasticité soit très difficilement décelable dans les terrains perméables par fissuration (calcaires, grés, laves, roches cristallines et métamorphiques), si on considère le volume extrêmement réduit de la zone fissurée par rapport au volume total du terrain intéressé par les mesures.

Au contraire dans les terrains perméables en petit (alluvions, sables, certains grés et calcaires coquilliers) affleurant, la présence d'une nappe pourra être caractérisée - à condition toutefois que les terrains soient homogènes et que la tranche imbibée soit d'épaisseur au moins aussi grande que les terrains secs. La mise en évidence de la nappe dans tels terrains est malgré tout d'intérêt réduit, car l'existence des eaux phréatiques est très généralement connue et ce que l'on demande à la géophysique dans ce cas, c'est de déterminer les zones où la nappe est plus puissante et non la présence déjà connue de cette nappe.

Quand ces niveaux perméables sont situés à grande profondeur, il sera généralement très difficile de déterminer s'ils sont ou non aquifères. Car s'ils sont minces (par rapport à leur profondeur), il sera difficile de les mettre eux-mêmes en évidence (leur présence se marquera seulement par une modification de la résistivité ou de la vitesse moyenne de la série qui les contient). S'ils sont suffisamment épais pour que les mesures géophysiques les perçoivent, il n'est que rarement possible d'évaluer leur résistivité ou leur élasticité (il conviendrait pour cela que leur épaisseur soit extrêmement grande par rapport à celle des terrains encaissants) et difficile donc de préciser leur état d'imbibition.

Enfin il est un domaine où la prospection électrique est susceptible de fournir d'importants renseignements. C'est celui des invasions salées dans les zones littorales ou en bordure de lacs salés.

En effet, la résistivité d'un terrain étant fonction de la résistivité de son eau d'imbibition, on comprend qu'un terrain imbibé d'eau salée sera beaucoup plus conducteur qu'un terrain imbibé d'eau douce. On pourra alors déterminer par sondage électrique l'allure du contact eau douce - eau salée dont la connaissance est extrêmement importante aux fins d'utilisation de la réserve d'eau douce.

3) Les méthodes géophysiques employées

a) Le sondage électrique vertical se présente comme la méthode fondamentale dans la prospection pour recherches hydrologiques. Cette méthode, qui est de mise en œuvre rapide et de coût relativement peu élevé par rapport aux

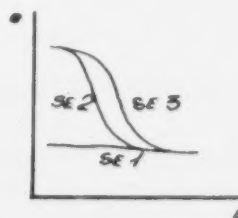
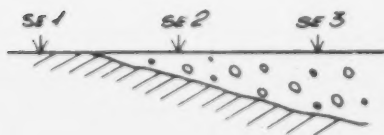
autres méthodes, s'adapte à la plupart des situations géologiques. En effet les terrains sédimentaires perméables (alluvions, sables, calcaires, grés, travertins, gypses) sont en général électriquement résistants tandis que les terrains sédimentaires imperméables (argiles, marnes, sables argileux) sont électriquement conducteurs et il est donc possible de les différencier. Les terrains volcaniques perméables (laves, tufs compacts, pouzzolanes et brèches) sont également résistants et se distinguent bien des tufs argileux et des argiles conductrices.

Le tableau ci-dessous donne une idée de l'échelle des valeurs de résistivité les plus fréquemment rencontrées dans le Midi de l'Italie.

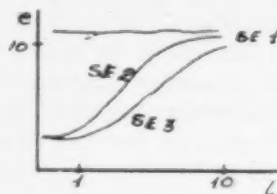
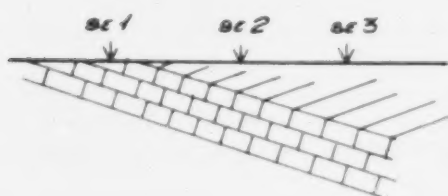
Formations lithologiques	Résistivité en OHM. M.
Alluvions sèches	50 - 1000 selon le contenu en argiles
Alluvions imbibées d'eau douce	20 - 300
Alluvions imbibées d'eau salée	moins de 5
Laves basaltiques récentes	1000
Laves antiques et pouzzolanes	30 - 500
Tufs et brèches	10 - 50
Grés, calcarenite, tufs calcaires	30 - 200
Argiles et sables alternés (Calabrien)	20 - 100
Argiles et marnes (Miocene et Pliocene)	1 - 10
Argiles écailleuses	3 - 20
Série sulfifère	20 - 100
Calcaires miocènes	50 - 1000
Calcaires secondaires	100 - 1500
Formations cristallines métamorphiques	80 - 500

Nous mentionnerons certaines situations très répandues dans les recherches effectuées, qui constituent un classique exemple d'application de la méthode des sondages électriques verticaux.

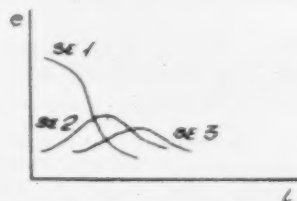
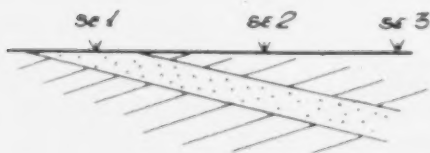
I cas: superposition d'un terrain perméable résistant sur un terrain imperméable conducteur; dans ce cas l'analyse des courbes de résistivité permet de déterminer l'épaisseur du terrain perméable et de mettre en évidence l'allure de la surface de contact entre les 2 terrains, donc de déterminer les zones d'accumulation des eaux souterraines.



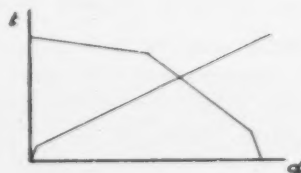
II cas: couverture imperméable conductrice reposant sur un substratum perméable résistant; dans ce cas l'analyse des courbes de résistivité permet de déterminer la profondeur du toit du substratum perméable.



III cas: Formation perméable résistante comprise entre 2 couches imperméables conductrices; dans ce cas l'analyse des courbes de résistivité permet de déterminer la profondeur et l'épaisseur de la formation perméable.



b) La méthode sismique Réfraction (étude de la réfraction dans le sous-sol des ondes élastiques produites par une explosion) se substitue au sondage électrique lorsque le substratum des terrains perméables est rocheux (alluvions sur calcaires, sur grès compacts, sur granite, sur laves etc.). La vitesse de propagation des ondes sismiques dans un terrain incohérent, comme les alluvions, et dans le rocher, est en effet très différente alors que la résistivité des deux terrains est voisine.



c) La méthode sismique Réflexion (étude des réflexions dans le sous-sol des ondes élastiques produites par une explosion) permet de préciser la tectonique des bassins sédimentaires profonds où alternent bancs durs et bancs tendres (série argilo-sableuse, argilo-gréseuse, alternance calcaires - marnes). Son champ d'application en hydrologie est son coût est très élevé.

d) Les méthodes magnétique et gravimétrique (étude des anomalies du champ magnétique terrestre et de la pesanteur) sont des méthodes de grande reconnaissance qui permettent de déterminer la structure d'ensemble d'une région, mais ne peuvent prétendre à aucun détail en hydrologie. Dans les régions dont la géologie régionale est déjà bien connue, comme l'Italie, elles n'ont pratiquement aucun emploi. Ces méthodes peuvent au contraire être appliquées en pays neufs où la structure souterraine est totalement inconnue pour dégrossir les problèmes.

e) Enfin il convient de signaler l'emploi de la méthode du Carottage électrique dans les forages. Cette méthode permet de déterminer l'emplacement des niveaux aquifères (qui ne sont pas toujours évidents lorsque l'on fore au rotary) et de calculer l'ordre de grandeur de leur porosité. Elle s'applique essentiellement aux séries argilo-sableuses. Elle n'est que de faible intérêt pour les terrains alluvionaux.

3) Les diverses situations hydrologiques et leur possibilité d'étude par géophysique.

Nous passerons rapidement en revue, à la lumière des données précédentes, les diverses situations géologiques favorables, médiocrement favorables et défavorables à l'emploi de la géophysique.

1) Situations favorables

D'une manière générale toutes les nappes alluviales sont d'étude aisée par géophysique. Celle-ci permet de déterminer l'épaisseur approximative des terrains perméables, de reconnaître les dépressions de leur substratum où les eaux sont susceptibles d'être drainées et emmagasinées et d'évaluer le volume du réservoir ainsi constitué. Les variations de perméabilité des alluvions provoquées par leur plus ou moins grande proportion en argiles, peuvent également être caractérisées par la plus ou moins grande résistivité de ces alluvions.

En Italie les vallées alluviales et les plaines côtières de Calabre, Sicile et des Abruzzes ont été ainsi systématiquement étudiées par la "Caisse du Midi" avec des résultats satisfaisants. Dans les mêmes régions on a étudié les nappes contenues dans les calcaires gréseux du Plio-quaternaire (ou dans les travertins) reposant sur les argiles pliocènes ou miocènes.

- Les vallées fossiles creusées dans les terrains argilo-marneux et situées au mur des laves basaltiques (en Italie, Latium, Campanie, Sicile) sont aisément mises en évidence par prospection électrique. Ces vallées continuent à drainer les eaux souterraines et leur connaissance est du plus grand intérêt.

- La géophysique permet encore de déterminer la profondeur et l'allure d'une série perméable (calcaires, grès, alluvions anciennes, laves etc.) sous un recouvrement imperméable d'argiles ou de marnes et de préciser les accidents tectoniques qui affectent ces terrains.

En Italie on a ainsi étudié l'allure des calcaires secondaires perméables de Sicile et des Pouilles sous une couverture de flysch argileux.

- Enfin dans les zones côtières l'allure du biseau salé peut facilement être reconnue comme cela a été fait en Italie méridionale et spécialement en Calabre.

ii) Situations médiocrement favorables

C'est le cas d'un niveau perméable mince (alluvions anciennes, niveau sableux, gréseux ou calcaire) intercalé dans une série imperméable (argiles - marnes). Si la profondeur de ce niveau n'est pas trop importante par rapport à son épaisseur on pourra en déterminer le toit et le mur, à condition que l'on dispose de forages qui permettent un étalonnage des mesures. S'il existe une série de niveaux perméables et imperméables alternés (série argilo-sableuse) on ne pourra déterminer que l'allure d'ensemble de la série par rapport aux formations encaissantes.

Les zones d'altération et les fissures des roches granitiques et métamorphiques (voir volcanisation dans le cas de laves acides) qui conditionnent l'hydrologie de ces roches ne seront mises en évidence que dans certaines limites.

iii) Situations défavorables - Une première situation franchement défavorable est celle d'une série calcaire ou dolomitique affleurante à hydrologie karstique: ni les cavités, ni les failles ne peuvent en général être reconnues par géophysique et différents essais à ce propos ont été négatifs. On conçoit d'ailleurs que des cavités de faible dimension par rapport au volume total intéressé par les mesures ne peuvent être mises en évidence.

- Lorsque les niveaux perméables intercalés dans une série imperméable (envisagés précédemment) ont des dimensions réduites par rapport à leur profondeur ils ne pourront être déterminés.

- Enfin il peut arriver que les terrains perméables et imperméables présentent des caractéristiques électriques ou élastiques semblables. Il ne sera alors plus possible de les différencier. Nous citerons le cas de marnes ou argiles et de sables ou alluvions à eau chargée en sel, celui de bancs alternativement perméables et imperméables etc.

4) Conclusions

On peut sans aucun doute considérer actuellement la technique géophysique comme un instrument valable dans le domaine des recherches hydrologiques du sous-sol, à condition qu'elle soit employée dans des situations géologiques adéquates comme cela a été illustré dans le paragraphe précédent.

Outre les limitations envisagées dans ce paragraphe il nous paraît utile de rappeler certaines conditions fondamentales qui doivent obligatoirement être réunies pour la bonne réussite des campagnes géophysiques.

a) Les études géophysiques doivent absolument être précédées d'une étude géologique préliminaire; reconnaissance directe des formations superficielles et prévisions de l'allure générale des formations profondes. Cette étude permettra de définir le problème à traiter en géophysique.

b) Il est très important également de disposer de cartes topographiques complètes avant d'entreprendre une prospection. Cette question comme celle des observations météorologiques et hydrographiques est particulièrement actuelle pour les pays sous-développés. Elle conditionne toute la recherche d'eau: il est en effet essentiel de disposer de points cotés avec une bonne approximation non seulement pour l'établissement des coupes de terrain déduites de la géophysique, mais également pour les déterminations hydrologiques successives (en particulier pour l'allure du niveau statique).

c) Enfin on souligne la nécessité qu'il y a à faire appel pour les travaux géophysiques, à des organisations hautement qualifiées tant en ce qui concerne la phase des opérations de campagne que la phase de l'interprétation des mesures et l'élaboration des résultats. La technique en question ne nécessitant pas en effet d'immobilisation élevée de capital et n'étant pas, au point de vue expérimental d'application difficile, peut spécialement dans la conjoncture actuelle favorable au développement de ce type d'étude, devenir l'objet de nombreuses et optimistes improvisations. Dans ce cas venant à manquer la part de l'expérience qui est certainement fondamentale dans le complexe travail de corrélation entre données expérimentales et réalité structurale: l'application de la géophysique basée au départ, comme on l'a vu, sur un critère d'économie, se résoudrait dans une intervention négative à tous points de vue.

1481 F - Nov. 1962 - 1,000